

カンキツ貯蔵用青色 LED 付設カートラックによる GP 剤散布 ‘寿太郎温州’ 果実の腐敗軽減効果の実証

山家一哲¹⁾・吉川公規²⁾

¹⁾農林技術研究所果樹研究センター,²⁾静岡県経済農業協同組合連合会

Cart and Rack Development with a Blue LED Irradiation Source for Citrus Fruit Storage and the Effects on the Decay of Satsuma Mandarin ‘Jutarou unshu’ Fruit Treated with GP

Ittetsu Yamaga¹⁾ and Kiminori Yoshikawa²⁾

¹⁾Fruit Tree Research Center/Shizuoka Res. Inst. Agric. and For., ²⁾JA Shizuoka Keizairen Co., Ltd

Abstract

Major post-harvest citrus pathogens cause severe economic losses during storage. Long-term storage has become more difficult because of global warming, which has made rind puffing of mandarin fruits increasingly common. Puffy fruits are frequently damaged during harvest, transport, and storage; whereby, they can be easily infected by fungi, and thus, quickly decay. Herein, we investigated the mitigating effects of blue light-emitting diode (LED) irradiation, using the cart and rack method, on fruit decay in satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) ‘Jutarou unshu’ fruit after harvesting. We examined a storage room (13.6 m²) equipped with cooling facilities in Numazu city, Nishiuraenashi. The fruits, which were treated with a mixture of gibberellin and prohydrojasmon (GP; 2 ppm: 25 ppm) spray three months before harvest, were stored using the cart and rack method with a blue LED irradiation source. Then, harvested fruits were irradiated with a tape LED at a maximum emission wavelength of 465 nm for 75 days at 6–7 °C. After storage, the fruits treated with GP and post-harvest blue LED irradiation had a lower decay rate and rind puffing index than that of the control fruits. In addition, compared to the non-irradiated fruits, the blue LED irradiation during storage significantly reduced the blue and green mold of the treated fruits. In contrast, these treatments did not affect the sugar and titratable acid contents of the fruits. These results show that blue LED irradiation using the cart and rack method in actual storage environments could reduce the decay and rind puffing of mandarin fruit treated with GP.

キーワード：ウンシュウミカン, 鮮度保持, 青かび病, 浮皮

I 緒 言

静岡県は主に、年明け出荷のウンシュウミカン（以下、ミカン）産地であり、‘青島温州’、‘寿太郎温州’に代表される晩生の貯蔵ミカンが多く生産されている。し

かし、近年地球温暖化の影響により果実の成熟時期が早くなる場合があり、貯蔵性の低い果実が増えるとともに、果実の鮮度が落ちてミカンの貯蔵が難しくなっている状況にある¹⁰⁾。現在、栽培期間中に殺菌剤（イミノクタジン酢酸、ベンズイミダゾール系薬剤等）を散布し、貯蔵中の腐敗を軽減させる方法をとっている³⁵⁾。しかし、薬

剤耐性菌の出現¹⁵⁾や消費者の食品に対する安心安全志向の高まりから、カンキツ栽培においても他作物と同様に薬剤散布回数を減らす試みが行われ、将来を見据えた上で可能な範囲で薬剤に依存しない総合的な貯蔵技術が求められている。筆者らは前報において、青色LED光(最大波長465nm)を照射による収穫後のウンシュウミカン果実の青かび病軽減効果について検証し、青色LED光が青かび病菌の生育抑制と果皮の病害抵抗性を高める可能性を示した¹⁸⁾¹⁹⁾。一方、栽培技術に目を向けると、樹上のミカン果実に対して、ジベレリン(以下、GA)とジャスモン1種であるプロヒドロジャスモン(以下、PDJ)の混用散布による浮皮軽減技術が開発され⁸⁾⁹⁾¹⁷⁾、2011年に植物成長調整剤として農薬登録された。ミカンの浮皮は、果実の成熟過程において果皮のアルベド部分と果肉が分離し、運搬中の損傷や貯蔵性の低下を引き起こす要因となる。GAとPDJの混用剤(以下、GP)は従来の浮皮軽減剤であるカルシウム剤と異なり、1回の散布(収穫3か月前)で、確実な浮皮軽減効果が得られることから生産現場で徐々に導入され始めている²⁾。静岡県のミカン産地でも、GA濃度1~3.3ppmを基本として導入が推進されている。それに加えて著者らは、収穫前のGP散布と貯蔵中の青色LED光照射が果実腐敗や品質に与える影響について検証を行った¹⁰⁾。県内産地において、今後GP剤は長期貯蔵用果実の確保に向けて、必須の技術となる可能性がある。そのためには、生産現場(ほ場、冷風貯蔵庫)で上記の組み合わせ技術について実証することが重要と考えられる。著者らは、テープ型青色LEDを利用した長期貯蔵の効果を経験したが²⁰⁾、テープ型LEDを貯蔵コンテナに挿入する手間がかかるため、生産現場での利用にはLEDの利用方法を改善する必要があった。現在のカンキツ貯蔵庫は、木箱や平コンテナ、プラスチックコンテナを数段積み上げて貯蔵する体系のため、貯蔵中の果実に光を照射するには、貯蔵方法に工夫を施さなければならない。そこで、著者らはそれまでの研究成果を踏まえて、テープ型LEDを付設した果実貯蔵用カートラックを考案した(実用新案3223547)²⁰⁾。ここでは、沼津市西浦江梨において、考案した青色LED付設カートラックを利用した‘寿太郎温州’果実の腐敗軽減効果について実証を行ったので、その結果について報告する。これまでは‘青島温州’を用いた貯蔵試験が多く、‘寿太郎温州’での試験機会が少なかったため、今回‘寿太郎温州’の主産地である南駿農業協同組合管内(沼津市)の生産園地および冷風貯蔵庫における現地実証に至った。‘寿太郎温州’の出荷は2月以降であり、‘青島

温州’と同じく更なる貯蔵性向上によって高単価での取引が期待できると考えられる。



図1 考案した青色LEDコンテナカート(左)とテープLED取り付け位置・角度(右)。

II 材料及び方法

1 青色LEDカートラックにおけるコンテナ内の光量子束密度算出

(1) 青色LEDカートラックの概要

考案した青色LEDコンテナカート全体図とテープ型青色LEDの取り付け位置・角度を図1に示す。貯蔵コンテナカートの寸法は、W45cm×L77cm×H175cmで、コンテナ配置数は1列7段とした。各段上部に77cmテープ型青色LED(浜松パルス、ピーク波長465nm)を1段ごと左右に設置した(図1左)。テープLEDは角度調整が可能であり(図1右)、本試験ではコンテナ中心部に照射されるよう25°設定とした。

(2) 青色LED光照射時の空コンテナ内における光量子束密度算出

果実貯蔵に使用するプラスチックコンテナ(三甲(株)、外寸:L61.5cm×W41cm×H19cm、内寸:L56.5cm×W37.5cm×H18cm)内の各部における分光放射照度を、CL-500A(コニカミノルタ(株))により計測した。計測点は図2のとおりで、各地点の垂直方向の分光放射照度を計測し、全計測波長を合わせた光量子束密度(以下、PFD)を算出した。

2 カート式貯蔵による青色LED光照射と栽培期間中のGP剤散布が‘寿太郎温州’の腐敗と果実品質に与える影響

(1) 供試果実

静岡県沼津市西浦江梨の現地栽培園‘寿太郎温州’ (カラタチ台) 8 樹に対して、2017 年 9 月 25 日に GP 剤 (ジベレリン 2 ppm とプロヒドロジャスモン 25 ppm の混合剤) を散布した。対照として無散布樹を 8 樹設定した。12 月 18 日に上記の樹から果実を収穫後、GP 散布果実と無散布果実についてそれぞれ試験に供試した。

(2) 貯蔵方法

果実収穫後に予措 (果実減量 5%) を行い、前述の貯蔵コンテナに果実を 12~13kg 入れ、2017 年 12 月 26 日に貯蔵を開始した。貯蔵庫は菱和設備 (株)・JA 静岡経済連 (特許 4584968) に準じた冷風貯蔵庫を利用し、設定温度は 6~7℃とした。処理区は GP+LED 区 (GP 散布+青色 LED 光照射)、GP 区 (GP 散布+無照射)、対照区 (GP 無散布+無照射) とし、1 区 100~120 果 7~8 (段) 反復とした。本試験は GP 剤と LED 貯蔵の組合せ効果を実証することを課題としており (農研機構生研支援センターが実施する革新的技術開発・緊急展開事業 (うち地域戦略プロジェクト) で実施)、LED 単独による効果はこれまでの試験で検証済みであることから、LED 単独の処理区は設けなかった。GP+LED 区は、上記の青色 LED コンテナカートにて貯蔵し (図 3 左)、照射期間は 1 月 18 日~3 月 13 日とした。対照区と GP 区は、同コンテナを 1 段ごとに、縦横を入れ替えて 8~9 段積み (一部試験対象外) にして貯蔵した (図 3 右)。各区の果実はすべて 1 棟 (13.6 m²) の貯蔵庫内で貯蔵した。GP+LED 区以外のコンテナは、青色 LED コンテナカートから離れた場所で貯蔵し、放射照度を測定して光の影響がないことを確認した (0.01 μmol・m²・s⁻¹以下)。

(3) 調査方法

(ア) 貯蔵庫内の気温、相対湿度の測定

貯蔵期間中における LED 区、無照射区の気温と相対湿度は、THERMO RECORDER RS-13 (エスペック (株)) をコンテナの中に入れて、1 時間ごと計測した。

(イ) 腐敗果率

貯蔵 84 日目 (2018 年 3 月 13 日) に全果実 (各区) の腐敗調査を行い、病斑の症状により①青かび病・緑かび病、②その他腐敗に分類し、それぞれの発生率と全体の腐敗果率を算出した。

(ウ) 果実品質

収穫直後と貯蔵後における果実の果肉歩合、果実比重、糖度、滴定酸含量を調査した。果肉歩合の算出方法は、{(果実重-果皮重)/果実重}×100 とした。果実比重は、果実を水に沈めて果実体積を測定し、果実重を果実体積で除して算出した。浮皮度は、河瀬⁴⁾の方法に基づき 4 段

階評価 (0: 無, 1: 軽度, 2: 中程度, 3: 甚大) とし、しなび度も 4 段階評価 (0: 無, 1: 軽度, 2: 中程度, 3: 甚大) を行った。Brix はデジタル糖度計 (PAL-1, (株) アタゴ) で測定し、滴定酸含量は 0.156 mol・L⁻¹ NaOH 中和滴定により算出した。果皮色は果こう部と赤道部の間の 1 か所を測色色差計 (TC-1500MC88, (有) 東京電色) で測定した。果実品質の測定は、収穫直後 1 区 5 果 5 樹反復、貯蔵後 1 区 5 果 5 反復とした。

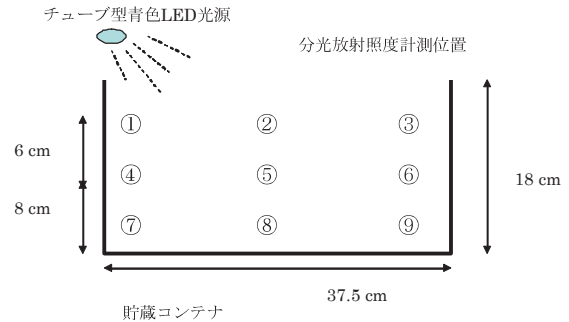


図 2 青色 LED 光照射時の分光放射照度計測位置



図 3 果実貯蔵方法 (左: 青色 LED カートラック利用, 右: その他果実)

(エ) 統計分析

Microsoft Office Excel の統計ソフト Excel 統計 2008 (株) 社会情報サービス) により統計分析を行った。収穫時の果実品質については、Mann-Whitney の U 検定もしくは Welch の t 検定を行った。貯蔵後の腐敗果率は、値をアークサイン変換後、一元配置分散分析を行い、5% 水準で有意差が認められた場合に Tukey の多重比較を行った。貯蔵後の果実品質は一元配置分散分析もしくは Kruskal-Wallis 検定を行い、5%水準で有意差が認められた場合に Tukey もしくは Steel-Dwass の多重比較を行った。

Ⅲ 結 果

1 青色 LED カートラックにおける PFD 算出

カートラックの青色 LED を照射した場合の空コンテナ内部の PFD を表 1, 図 4 (分光放射) に示す. コンテナ中央中方 (⑤) の PFD は $3.68 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ と測定点の中で最も高かった. 次いで光源側上方 (①), 光源側中方 (④), 中央下方 (⑧) の順であった. PFD が最も低かったのは光源から離れた側の上方 (③) だった.

表 1 青色 LED 光照射時における空コンテナ内の PFD

| | | PFD ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) |
|----|---------------|--|
| 上方 | ① | 3.47 |
| | (底面 14cm 上) ② | 2.45 |
| | ③ | 0.68 |
| 中方 | ④ | 2.84 |
| | (底面 8cm 上) ⑤ | 3.68 |
| | ⑥ | 1.37 |
| 下方 | ⑦ | 1.26 |
| | (底面) ⑧ | 2.80 |
| | ⑨ | 1.69 |

2 カート式貯蔵による青色 LED 光照射と栽培期間中の GP 剤散布が‘寿太郎温州’の腐敗と果実品質に与える影響

GP+LED 区のコンテナ内温度は、無照射区とほぼ同程度で推移した (図 5). 相対湿度は無照射区の方がやや高く推移する傾向にあった. 測定期間中の平均温度は、GP+LED 区 6.1°C , 無照射区 6.0°C であり、平均相対湿度は GP+LED 区 78%, 無照射区 81% だった. 貯蔵後の全腐敗果率は GP+LED 区が最も低く (0.31%), 次いで GP 区 (1.76%), 最も高かったのが対照区 (4.24%) であった (表 2). 青かび・緑かび病, その他腐敗の発生率についても GP+LED 区が最も低く, 次いで GP 区, 最も高かったのが対照区であった. 収穫時と貯蔵後における果実品質をそれぞれ表 3, 表 4 に示す. 収穫時点において対照区の浮皮は進んでないものの, GP 区の果実比重は対照区よりも高かった. Brix, 酸含量は GP 区が高かった. 貯蔵後では, GP+LED 区の浮皮度が最も低く (果実比重が最も高い), GP 剤と LED による貯蔵の組合せにより浮皮軽減

効果が認められた. 貯蔵後の Brix, 酸含量は処理による有意差がみられなかった.

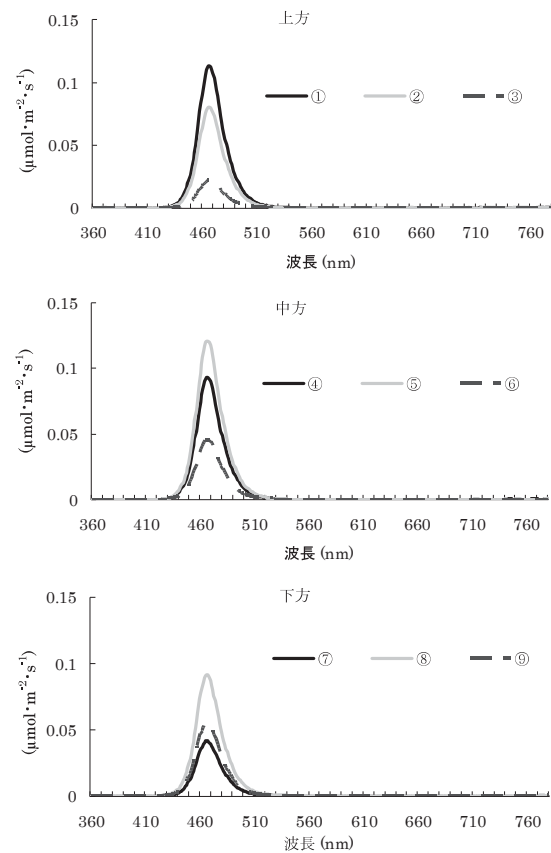


図 4 青色 LED 光照射時の空コンテナ内部における分光放射

Ⅳ 考 察

本研究では考案した青色 LED カートラックを用いた貯蔵と栽培中の GP 剤散布の組合せによる貯蔵性向上効果の実証を行い, 技術の併用による腐敗と浮皮軽減の効果が確認された. 対照区における腐敗果率は 4.24% であり, 当センターが異なる環境で実施した過去 3 年間 (2015~2017 年度) の調査事例よりも低い値であった (データ未出). 4 月まで貯蔵すると腐敗が多発する (10% 以上) 事例が多くみられるため¹²⁾, 現地貯蔵庫での実用的な効果が期待される. 前報において, ‘青島温州’ に対して平型木箱の上から青色 LED 光照射を行い, 貯蔵病害を中心とした果実腐敗の抑制効果を調査し, GP 散布と貯蔵中の青色 LED 光による効果の交互作用について検証した¹⁶⁾. 前報では, 貯蔵庫内の木箱用差込棚に LED を設置し, 20cm 下の果実に対して照射を行ったため, 照射空間の差

込木箱を撤去して試験を行った。今回は県内生産者のほ場および貯蔵庫を使用し、通常の栽培・貯蔵体系に類似した環境で行った試験のため、成果活用に繋がりやすい結果が得られたと考えられる。

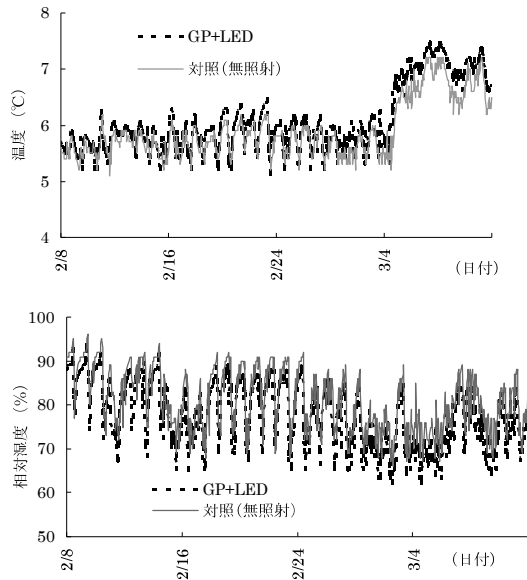


図5 貯蔵コンテナ内の温度・相対湿度の推移

青かび病菌の生育阻害（菌糸伸長阻害、胞子形成阻害）については著者らが青色 LED 光 ($8 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) における効果を *in vitro* で確認している¹⁹。今回の試験において、果実に照射される部分はそれ以下の放射強度であり、空気中の菌生育阻害も含まれた結果であると推測されるが、 $8 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 以下の強度でも実用面では、青かび・緑かび病の抑制に効果があることが見出された。また Liao と Burns (2010) は、 $3 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ の青色光でもオレンジ果実の抵抗性を高めることを示唆しており⁹、コンテナ上部に置かれた果実に対する抵抗性が付与されている可能性がある。本試験で使用した冷風貯蔵庫と同タイプの貯蔵庫^{13,14}であれば、冷却器および循環ファンから吹き出された空気が吸気側の負圧領域に向かって吸引されることで空気の循環路が形成される仕組み

となっているため、カートラックだけでなく、冷気吹き出し口等にも LED を設置すれば、菌生育阻害の効果が高まると考えられる。

GP 剤処理のみでは、腐敗抑制がみられる場合²とそうでない場合¹⁶があり、今回も数値の開きはあるが、有意差は認められなかった ($p=0.1624$)。腐敗抑制、浮皮軽減ともに青色 LED カートラックを利用した貯蔵を組み合わせることで効果が高まる結果となった。一方、LED の腐敗軽減効果については緒言で述べたように著者らがこれまでに明らかにしており、腐敗果率が高くなるほど腐敗軽減効果が認められやすい傾向があった。上記で述べたように、本研究のような腐敗果率が 5% 以下の場合でも、一定の効果があると考えられた。

著者らはこれまでに、青色 LED 光による青かび病菌の菌糸伸長抑制と胞子形成の抑制、青色 LED 光と付傷処理による果皮の抵抗性物質生成について報告した^{18,19}。果実への直接照射でないと、抵抗性の付与は難しいと考えられるが¹⁰、前述のように空気の流れが存在する冷風貯蔵庫内では、果実周辺に青色 LED 光を照射することで、菌糸の伸長阻害に作用し腐敗抑制に繋がっていると推測される。コンテナ内の温度は、LED 光照射の影響で通常より $0.1 \sim 0.2^\circ\text{C}$ 高く推移していた。この温度差異により、こはん症などの低温による果皮障害が軽減されている可能性も考えられる。一方、青色光 ($50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ を 30 秒照射) は孔辺細胞原形質膜のプロトンポンプを活性化して、気孔を開孔させる¹¹。果皮の孔辺細胞でも、開孔により水分が蒸散するキュアリングの効果により、腐敗が軽減している可能性も考えられる。また、高湿度環境は浮皮や腐敗を助長する要因であるが、GP+LED 区の湿度は平均でおよそ 3% 対照区より低く推移していた。LED 光照射により、コンテナ内の微小空間で極僅かな対流が起きていることも考えられる。本研究に使用したテープ型 LED は熱拡散性に優れ、従来品よりも温度が上がりにくくなってはいるものの、長期貯蔵に利用する場合は、冷蔵施設のある貯蔵庫内で用いることが望ましい。低温が維持される貯蔵庫であれば、他の品種だけでなく、

表2 各処理区における貯蔵後の腐敗果率 (3/13)

| | 青かび・緑かび (%) | その他腐敗 (%) | 全腐敗果率 (%) |
|------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| GP+LED | 0.00 ^b | 0.31 ^b | 0.31 ^b |
| GP | 1.24 ^a | 0.52 ^{ab} | 1.76 ^{ab} |
| 対照 | 1.86 ^a | 2.38 ^a | 4.24 ^a |
| 有意性 ^z | ** | * | ** |

Arcsin 変換後検定。z: 分散分析により**は1%、*は5%水準で有意差あり。y: Tukey の多重検定により 5%水準で異符号間に有意差あり。

表3 収穫時(12月)における‘寿太郎温州’の果実品質

| 処理区 | 果実重 (g) | 果肉歩合 (%) | 果実比重 | 浮皮度 ^y | Brix (%) | 酸 (%) | 果皮色 | | |
|------------------|------------|-------------|------|------------------|-------------|----------|------|------|------|
| | | | | | | | L*値 | a*値 | b*値 |
| GP | 107 | 79.4 | 0.92 | 0.0 | 12.0 | 0.90 | 65.3 | 18.6 | 66.9 |
| 対照 | 101 | 78.4 | 0.90 | 0.1 | 11.4 | 0.81 | 65.5 | 20.8 | 66.7 |
| 有意性 ^z | - | n.s. | * | n.s. | * | * | n.s. | n.s. | n.s. |

z: 浮皮度についてはMann-WhitneyのU検定により, その他の項目についてはWelchのt検定により*は5%水準で有意差があり, n.s.は有意差なし.

—は検定なし. y: 無(0), 軽(1), 中(2), 甚(3).

表4 カート式青色LED照射による貯蔵が‘寿太郎温州’の果実品質(3月)に与える影響

| 処理区 | 果実重 (g) | 果肉歩合 (%) | 果実比重 | 浮皮度 ^w | Brix (%) | 酸 (%) | しなび ^w | 果皮色 | | |
|------------------|------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------|----------|------------------|------|--------------------|------|
| | | | | | | | | L*値 | a*値 | b*値 |
| GP+LED | 96 | 79.3a ^x | 0.91a ^x | 0.1b ^y | 12.5 | 0.54 | 0.2 | 64.4 | 25.5a ^x | 66.2 |
| GP | 98 | 77.9ab | 0.90b | 0.3ab | 12.2 | 0.59 | 0.4 | 63.9 | 24.8ab | 65.0 |
| 対照 | 94 | 76.0b | 0.87c | 0.7a | 12.6 | 0.54 | 0.4 | 65.0 | 24.1b | 67.3 |
| 有意性 ^z | — | ** | ** | ** | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. | ** | n.s. |

z: 浮皮度、しなびについてはKruskal-Wallis検定により, その他の項目については分散分析により, **は1%水準で有意差があり, n.s.は有意差なし. —は, 検

定なし. y: Steel-Dwass法により5%水準で異符号間に有意差あり. x: Tukey法により5%水準で異符号間に有意差あり. w: 無(0), 軽(1), 中(2), 甚(3).

他の果実類でも貯蔵性向上のための装置活用が期待できる。また移動が容易なため、庫内に複数のカートトラックを配置し、位置を入れ替えることで場所による温度湿度のばらつきを低減させる効果もあると考えられる。

カートトラックの段数や列数は、貯蔵果実量や作業性、貯蔵庫の規模を考慮して今後改良する余地がある。コンテナの積み上げ労力を考慮すると、列数を増やして段数を低くする改良も考えられる。果実に対して効率的に光照射を行うことは、殺菌装置などでも共通した課題²⁹である。今回は熱放散の点から段ごと配置するLEDの位置を変えたが、中央にLEDを配置することも可能である。また、必要な導入コストやランニングコストを考慮するとLED光源は少ない方が良く、少ない光源で効果を出せるカートの構造を引き続き検討することも重要である。

以上の結果から、現地冷風貯蔵庫(沼津市西浦)での‘寿太郎温州’を用いた実証試験において、栽培中のGP剤散布と青色LEDカートトラックによる貯蔵は、全体の腐敗果と浮皮度が有意に減少することが示唆され、他の果実品質や庫内の温度、湿度に影響を与えにくいことが確認されたことから、考案した装置は現地で活用できると考えられる。

V 摘 要

近年、地球温暖化の影響によりウンシュウミカンの収穫時期が早くなり、貯蔵性の低い果実が増えるとともに、果実の鮮度が落ちて長期貯蔵が難しくなっている状況にある。そこで、カートトラックを利用した青色LED照射による貯蔵中の果実腐敗(青かび病、緑かび病を中心とする貯蔵病害)軽減効果を沼津市西浦江梨で生産されている‘寿太郎温州’を用いて、現地の冷風貯蔵庫内で実証を行った。LEDカートトラックで貯蔵する果実は、長期貯蔵用のため浮皮軽減剤(ジベレリンとプロヒドロジャスモン)の混用剤、以下GP剤)を散布した果実を使用した。その結果、青色LED照射果は無照射果と比較して、青かび・緑かびの発生率が有意に減少した。また、GP剤散布と青色LED照射は、貯蔵後の腐敗果率、浮皮度が対照区と比較して有意に減少することが明らかとなった。貯蔵後におけるBrix、酸含量、しなび度については、GP散布や青色LED照射処理による差は認められなかった。以上より、GP剤散布と青色LED貯蔵は、腐敗果発生と浮皮を軽減することが示唆され、他の果実品質や庫内温度に影響を与えないことから、考案したカートトラックが現地で活用できると考えられた。

謝 辞

青色 LED 付設カートラックについて、共同開発して頂いた株式会社浜松パルス松浦隆廣氏、近藤正人氏、永田幸八氏に厚くお礼申し上げます。また、テーブル型 LED を紹介頂いた株式会社ホト・アグリ代表取締役山田万祐子氏に厚くお礼申し上げます。本研究の一部は、農研機構生研支援センターが実施する「革新的技術開発・緊急展開事業（うち地域戦略プロジェクト）」により実施した。

引用文献

- 1) Alferez, F., H.-L. Liao and J.K. Burns (2012) : Blue light alters infection by *Penicillium digitatum* in tangerines. *Postharvest Biol. Technol.* 63, 11-15.
- 2) 藤枝市岡部町温暖化対策会議 (2015) : 26 年産ミカンに対する GP 剤の効果.「柑橘」静岡県経済農業協同組合連合会. 67(10), 18-21.
- 3) 家村浩海 (1998) : 最近 10 年間における果樹病害の防除技術の変遷と課題. 関西病虫研報. 40, 27-28.
- 4) 河瀬憲次 (1987) : II 果実調査法.「カンキツの調査方法」農林水産省果樹試験場興津支場. p. 12..
- 5) 北川博敏・谷 利一 (1983) : カンキツの緑かび病及び青かび病の発病防止に及ぼすソルビン酸カリとチアベンダゾール混用の効果. 園学雑. 52, 464-468.
- 6) Liao, H.-L. and J.K. Burns (2010) : Light controls phospholipase A α and β gene expression in *Citrus sinensis*. *J. Exp. Bot.* 61, 2469-2478.
- 7) Liao, H.-L., F. Alferez and J.K. Burns (2013) : Assessment of blue light treatments on citrus postharvest diseases. *Postharvest Biol. Technol.* 81, 81-88.
- 8) 牧田好高・山家一哲 (2004) : プロヒドロジャスモンを添加したジベレリン水溶液の秋季散布はウンシュウミカンの浮皮を軽減する. 園学雑. 73 (別 2) , 106.
- 9) Makita, Y. and I. Yamaga (2006) : Autumn sprays of gibberellic acid and prohydrojasmon mixtures reduce the incidence of rind puffing in Satsuma mandarin. *Proc. Intl. Hort. Congr.* 27, 455.
- 10) 農林水産省農林水産技術会議 (2007) : 地球温暖化が農林水産業に与える影響と対策. 農林水産研究開発レポート. 23, 1-13.
- 11) 島崎研一郎 (1994) : 気孔の青色光効果と原形質膜のプロトンポンプ. 根の研究. 3, 14-17.
- 12) 静岡県柑橘試験場 (1998) : ミカンの貯蔵について. p.26
- 13) 杉浦雅男・木村雅之・杉山博茂 (2009) : 貯蔵庫. 特許 4584968.
- 14) 杉山博茂 (2012) : 冷風貯蔵.「青島温州のすべて」静岡県経済農業協同組合連合会. p. 98-106.
- 15) 田代暢哉・井手洋一・井下美加乃 (2008) : 収穫期のベンゾイミダゾール系薬剤散布前のハウスミカン園および極早生温州ミカン園における同系薬剤耐性緑かび病菌の検出状況と同系薬剤による防除効果の低下. 日植病報. 74, 89-96.
- 16) 山家一哲・古屋雅司 (2017) : プロヒドロジャスモン加用ジベレリンの秋季散布と収穫後青色 LED 光照射がウンシュウミカンの腐敗に及ぼす影響. 日本食品科学工学会誌. 64, 16-22.
- 17) 山家一哲・牧田好高(2004) : プロヒドロジャスモンを添加したジベレリン水溶液の秋季散布は産地が異なってもウンシュウミカンの浮皮を軽減する. 園学雑. 73 (別 2) , 107.
- 18) 山家一哲・高橋哲也・石井香奈子・加藤光弘・小林康志 (2015) : 青色 LED 光照射によるウンシュウミカン果実の青かび病抑制効果. 園学研. 14, 83-87.
- 19) Yamaga, I., T. Takahashi, K. Ishii, M. Kato and Y. Kobayashi (2015) : Suppression of blue mold symptom development in satsuma mandarin fruits treated by low-intensity blue LED irradiation. *Food Sci. Technol. Res.* 21, 347-351.
- 20) Yamaga, I. and S. Nakamura (2018) : Blue LED irradiation induces scoparone production in wounded satsuma mandarin 'Aoshima Unshu' and reduces fruit decay during long-term storage. *Hort. J.* 87, 474-480.
- 21) 山家一哲・吉川公規・鈴木康之 (2019) : 農産物貯蔵装置. 実用新案 3223547
- 22) Yan, R., J. Mattheis, J. Gurtlera, J. Sitesa and X. Fan (2014) : UV-C inactivation of *Escherichia coli* and dose uniformity on apricotfruit in a commercial setting. *Postharvest Biol. Technol.* 95, 46-49.